# Rendimiento de cuatro carbones activos granulares

## Estudio comparativo en planta piloto en la ETAP de Figueres

Por: Pere Agustí lhontangas Licenciado Químico (especialidad Bioquímica)

Responsable de las estaciones de tratamiento de agua.

Josep Lluis Morcillo Pérez. Licenciado Químico. Técnico de la Calidad.

Camí Vell de Vilatenim, s/n. Figueres de Serveis S.A. (Fisersa)

17600 Figueres,Girona.

Tel: 972673985-972672449. Fax:972507808

## 1. Introducción

### 1.1 *Antecedentes*

La Estación de Tratamiento de Aguas Potables (ETAP) de Figueres recibe las aguas crudas (caracterización en la **tabla 1**) del embalse de Boadella a través de dos tuberías dc 400 mm de diámetro y 15 km de longitud.

**Tabla 1**

Características del agua cruda de entrada a la ETAP
(Datos tomados del año 1997)

| Parámetro | Valor medio | Desviación típica | Unidades |
|---|---|---|---|
| Turbidez | 1.87 | 0.45 | NTU |
| pH | 7.79 | 0.14 | - |
| Conductividad | 326 | 25 | mS/cm |
| Oxidabilidad | 3.96 | 0.19 | mg $O_2$/l |

El tratamiento que recibe consiste en una oxidación con cloro y permanganato, una coagulación-floculación con policloruro de aluminio y polielectrólito aniónico, decantación en seis decantadores estáticos por contacto de fangos, seguida por una filtración por gravedad en filtros de arena. Posteriormente, es clorada antes de ser almacenada en un depósito regulador, siendo finalmente enviada por gravedad a la red de distribución para su Consumo final.

La capacidad nominal de tratamiento es de 120 litros por segundo, y abastece a una población de 35000 habitantes.

FISERSA (Figueres de Serveis, S.A) es la empresa municipal que gestiona la explotación de la ETAP de Figueres, además de varios servicios: el transporte urbano y escolar, la depuración de aguas residuales, el mantenimiento de colectores y de la red de distribución de agua potable, el alumbrado público, el estacionamiento regulado, entre otros.

### 1.2. *Objetivo.*

El objetivo principal del estudio consiste en la elección de uno de cuatro *CAGs* para sustituir a la arena, en los filtros actualmente en funcionamiento en la ETAP de Figueres. Mediante un estudio anterior se comprobó que el funcionamiento físico de la filtración era equivalente a la arena, para las granulometrías estudiadas.

## 2. La planta piloto.

La planta piloto **(Figura 1)** está formada por cuatro Filtros cilíndricos de l6,75 $drn^3$ (7,7 cm de radio interior y 90 cm de altura) cada uno, encontrándose en su interior un volumen de 11,18 $dm^3$ de cada tipo de CAG ( que corresponde a una altura de 60 cm). Con esto se consigue que exista el espacio libre suficiente (30 % del volumen respectivo de carbón) para una buena limpieza de los filtros de CAG durante el retrolavado. El retrolavado consiste en la aplicación de agua en sentido opuesto al paso normal del tratamiento, arrastrando así aquella materia que pueda haber saturado físicamente los filtros.

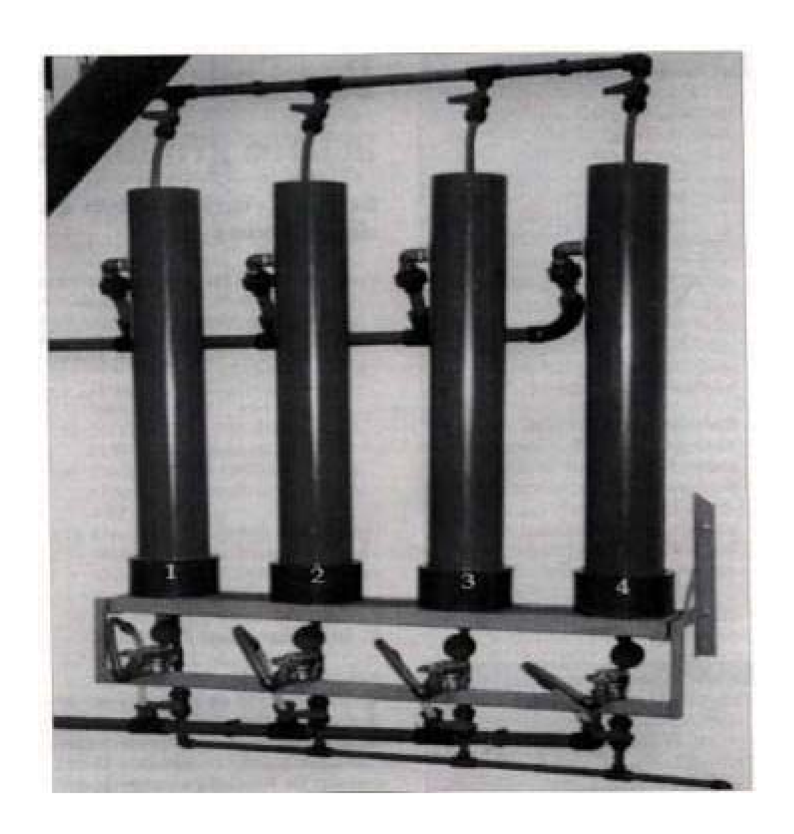



**Fig. 1. Planta piloto**

La alimentación de los cuatro filtros procede de un decantador de la ETAP de Figueres, en la salida de cada uno de los filtros piloto existe un contador que permite saber el volumen total de agua tratada ,así como regular y conocer el caudal que pasa en cada momento.

El caudal medio que pasa por cada uno de los filtros es de 3 L/min, obteniendo así un tiempo de residencia, tiempo de contacto del agua con el CA ,de aproximadamente 4 min.

Para el lavado de cada filtro se emplea un caudal de 25 l/min, se realiza cada 24 horas y se finaliza cuando se observa que el agua de lavado es suficientemente transparente, generalmente unos seis o siete minutos. Hay que destacar que tanto en el inicio como durante el lavado, se debe ir variando el caudal gradualmente, para así evitar la pérdida del carbón al inicio y rotura de la estratificación existente durante el lavado.

## 3. Caracterización de los CAG utilizados.

### *3.1. Características comerciales.*

Se presentan en la **Tabla 2** las características de los diferentes CAGs estudiados, importantes después para la comparación de sus rendimientos.

**Tabla 2**

Caracterización de los CAGs utilizados en el estudio (basado en las especificaciones dadas por los suministradores)

| Nº filtro | Origen | Densidad (kg/m³) | Tamaño malla | humedad (% máximo) | Indice de yodo | Cenizas % | Dureza % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Vegetal | 470-550 | 8x16 | 5 | 1000 | 4 | 95 |
| 2 | Mineral | 600 | 10x20 | 2 | 1000 | 8 | 75 |
| 3 | Vegetal | 520-580 | 8x30 | 4 | 700 | 4 | 98 |
| 4 | Mineral | 450-500 | 8x30 | 6 | 1000 | 13 | 95 |

### *3.2 Granulometrías.*

Se han hecho granulometrías a las diferentes muestras de CAG, ya que se considera que el tamaño de partícula puede ser decisivo ante el funcionamiento y el rendimiento de éstos. La **Figura** 2 engloba los resultados. El filtro 3 presenta el mayor grado de dispersión. El filtro 1 posee un tamaño medio de gránulo más elevado.

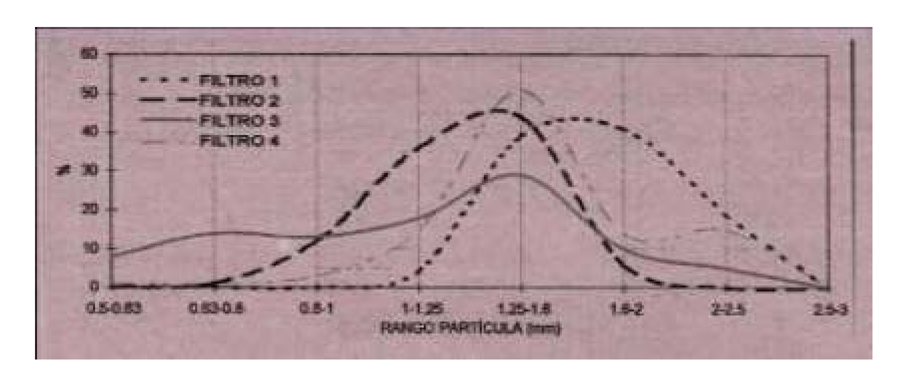



**Fig. 2. Caracterización granulométrica de los CAG´s utilizados en el suelo**

## 4. Resultados del rendimiento.

Se han controlado parámetros importantes de rendimiento del proceso de potabilización del agua como son: la turbidez, la oxidabilidad (materia oxidable) y la presencia de compuestos orgánicos volátiles halogenados (cloroformo brormodiclormetano y bromoformo). Además se ha hecho un seguimiento del grado de saturación de los filtros, para conocer cual de ellos presenta una menor pérdida de carga, es decir cual es capaz de aguantar mayor paso de agua, sin necesidad de ser retrolavado.

Las diferentes muestras de agua de entrada y salida que se han analizado, siempre se han recogido una vez retrolavados los filtros, dejando un tiempo mínimo de contacto de cuatro minutos, que corresponde al tiempo de residencia. La duración del estudio ha sido de seis meses.

Mediante una relación entre el caudal inicial de cada ciclo y el caudal medido, pasadas veinticuatro horas, se ha llegado a conocer el grado de saturación de cada uno de los filtros. En la Tabla 3 se presentan las medias de los resultados.

| Tabla 3 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Engloba los resultados de rendimiento de saturación de los filtros, de eliminación de turbidez y materia orgánica | | | | | | |
| Parámetro | (Unidades) | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 | Filtro 4 | Alimentación |
| % de saturación hidráulica (pasados 24 horas) | | 72 | 76 | 87 | 66 | - |
| valor medio turbidez | (ntu) | 0.35 | 0.32 | 0.34 | 0.30 | 1.07 |
| desviación típica turbidez | (ntu) | 0.15 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.38 |
| valor medio oxidabilidades | (mg $O_2$/l) | 0.65 | 0.51 | 0.65 | 0.53 | 1.03 |
| desviación típica oxidabilidades | (mg $O_2$/l) | 0.10 | 0.16 | 0.20 | 0.18 | 0.6 |

Este parámetro afecta de una forma económica al rendimiento, ya que aquel filtro que tenga una mayor pérdida de carga necesitará más cantidad de retrolavados, lo cual se traducirá en un mayor consumo de agua y electricidad.

Se ha controlado, de forma periódica, la turbidez del agua a la entrada y a la salida de los filtros. Se presentan las medias de los resultados en la tabla 3. Los cuatro filtros actúan de forma similar, al eliminar la materia no disuelta causante del aumento de turbidez.

Se hace un seguimiento de las oxidabilidades de las diferentes muestras de agua. Los datos reflejados en la Tabla 3 permiten tener una idea del porcentaje de materia orgánica que es capaz de eliminar cada filtro de CAG.

## 5. Eliminación contaminantes orgánicos volátiles halogenados.

Uno de los problemas más comunes en las estaciones potabilizadoras es la formación de trihalometanos después de la cloración. A pesar de su formación durante el proceso de potabilización del agua en la ETAP de Figueres, los niveles detectados están por debajo de los límites establecidos.

Este estudio permite conocer el rendimiento de los diferentes CAGs ante compuestos corno el cloroformo, el bromodiclorometano y el dibromoclorometano, que son los únicos hallados en las aguas examinadas en cantidades significativas.

### *5.1 Seguimiento. Eliminación cloroformo.*

Se ha analizado la cantidad de cloroformo presente en la alimentación, así como en las salidas de los cuatro filtros y por diferencia, se han conocido el porcentaje eliminado.

Se muestra en la. figura 3 como varía el rendimiento de eliminación de cloroformo para los cuatro CAGs, frente al volumen de agua tratada.

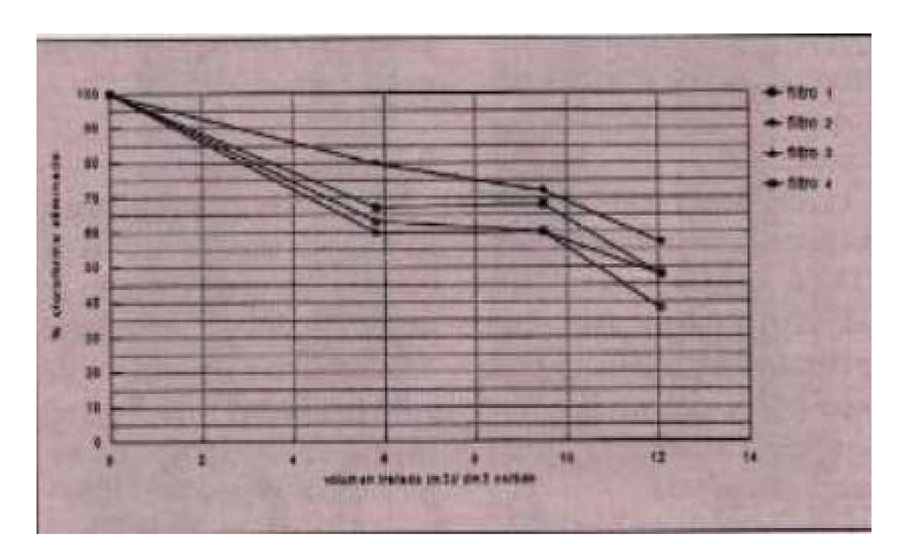



**Fig. 3. Eliminación cloroformo**

El mejor comportamiento lo presenta el filtro 2, con respecto a los otros tres que poseen un comportamiento similar. Este resultado puede indicar que no influye prioritariamente si el carbón es vegetal o mineral, pero sí influye de forma más importante el tamaño de malla o la dispersión de

gránulo que posee. Para todos los filtros se observa que la disminución del rendimiento es importante en un periodo de tiempo corto.

### *5.2. Seguimiento eliminación bromodiclorometano.*

La figura 4 engloba los diferentes comportamientos ante la presencia del bromodiclorometano. Se refleja la misma tendencia que en el apartado anterior, destacando por un ligero mejor rendimiento, el filtro 2.

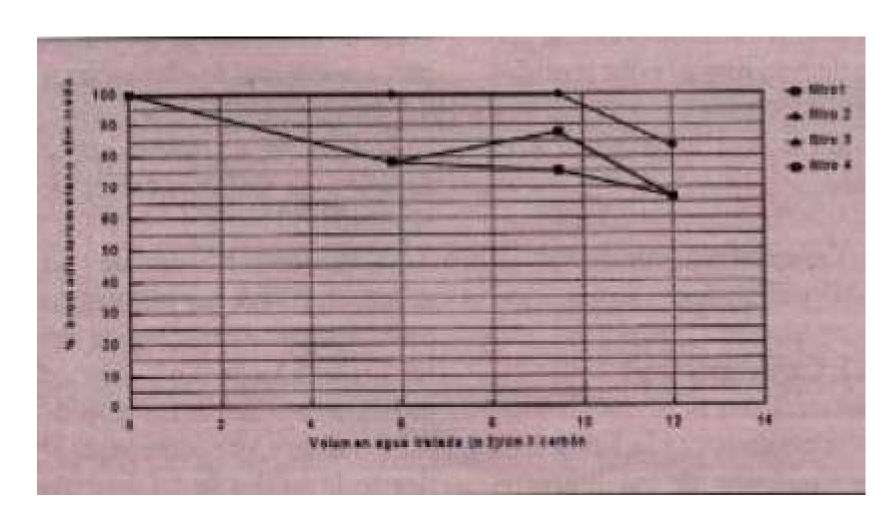



**Fig. 4. Eliminación bromodiclorometano**

### *5.3 Seguimiento eliminación dibromoclorometano*

El rendimiento frente a este compuesto es para todos los filtros máximo, pues la presencia de dibromoclorometano es casi nula, y su eliminación no es nada problemática.

### *5.4.Seguimiento eliminación totales*

Se tienen ahora en cuenta los tres tipos de compuestos (Figura 5). El comportamiento queda representado por funciones tipo cuadráticas. El filtro 2

posee un mayor rendimiento, tal come sucedía antes de forma individual, seguido por el filtro 1. Para los demás filtros, el comportamiento es prácticamente idéntico.

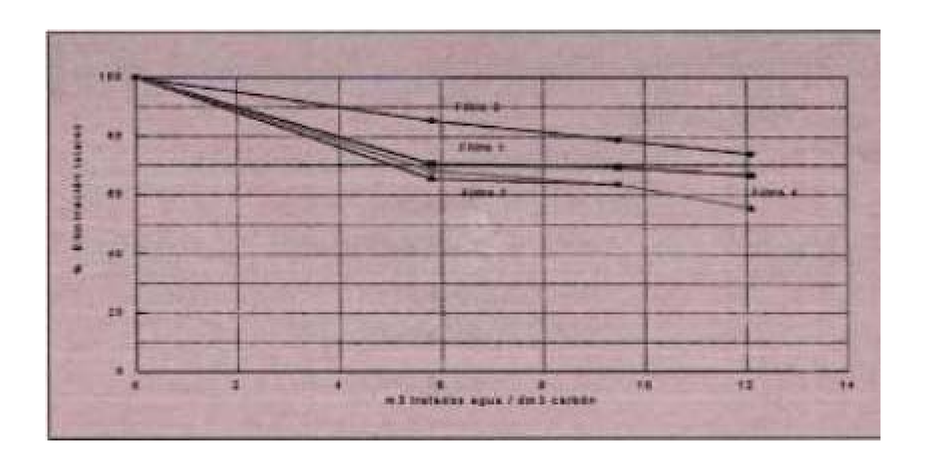



**Fig. 5. Eliminación totales (tiene en cuenta los tres tipos)**

## 6. Índices o números de yodo

Se ha controlado durante todo el estudio la evolución del índice de yodo de cada uno de los CAGs. Este parámetro nos da gran información sobre el estado del carbón activo y puede relacionarse con el rendimiento de eliminación de diferentes contaminantes, pues lo que nos está indicando es la superficie de carbón que existe aún con poder de adsorción. En la figura 6 podernos observar esta evolución.

El filtro 1 presenta el valor inicial de número de yodo mayor. El filtro 3 posee una pendiente menos pronunciada.

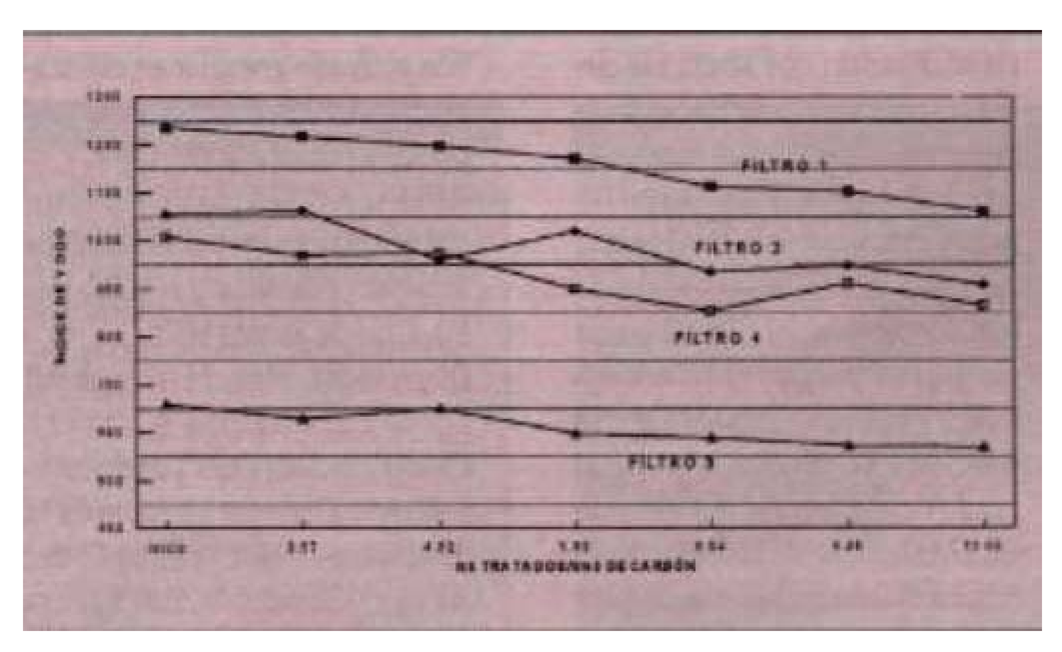



**Fig. 6. Evolución índices de yodo (en mg yodo adsorbidos/g. carbón) de los dieferentes CAG´s**
**en función del volumen de agua tratado (m$^3$) / volumen de carbón presente (dm$^3$)**

## 7. Extrapolación al filtro real.

A partir del seguimiento de los números de yodo, tornando corno tiempo de vida de un filtro aquél que pasa hasta que el índice de yodo llega a un 50% de su valor inicial, se ha valorado cual es el tiempo necesario aproximado para la regeneración de cada filtro.

Mediante las regresiones hechas a partir de la **Figura 6** se conoce aproximadamente que cantidad de agua de consumo máxima puede ser tratada por dm$^3$ de CAG, sin que este CAG tenga que ser regenerado (el valor de X cuando Y = 50 % del valor inicial del índice de yodo). Conociendo el volumen de carbón presente en un filtro real, se extrapola el volumen de agua que el filtro real puede tratar antes de su regeneración. A partir del caudal diario que pasa por cada filtro real (datos de la ETAP de Figueres del año 1997) se calculan los días de funcionamiento antes de la regeneración. Los resultados obtenidos **(Tabla 4),** muy similares entre sí, nos sugieren que el comportamiento de todos ellos es similar, por lo que los criterios de selección

serán en este caso, el coste de adquisición del producto así como el coste para su regeneración.

| Tabla 4 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Resultados del estudio económico basado en los valores de los índices de yodo y en datos del año de caudales de entrada a la ETAP de Figueres de 1997 | | | | |
| Filtro | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $m^3$ de agua tratados/$dm^3$ carbón para llegar al 50% del valor inicial del índice de yodo (planta piloto) | 39.19 | 39.86 | 39.19 | 38.73 |
| Para un filtro real de la planta (14280 $dm^3$ de carbón), $m^3$ de agua a tratar antes de la regeneración de filtro | 559682 | 569264 | 559581 | 553119 |
| Días aproximados para la regeneración calculados para el caudal medio de 18.2 l/s por filtro | 356 | 362 | 356 | 352 |

## 8.Conclusiones

-A modo de conclusión se presenta la Tabla 5, donde quedan clasificados (de mejor a peor comportamiento) los diferentes CAGs, según los resultados obtenidos. Aunque se establece este orden comparativo, el comportamiento de los cuatro CAGs estudiados es similar. Por ello los criterios básicos de elección han sido, en este caso, el coste de inversión y regeneración para cada tipo de CAG.

-El filtro 3 es el que sufre una mayor perdida de carga. Por consiguiente éste será el que presentará un mayor consumo de agua y electricidad. Estos resultados tienen relación con el gráfico de granulometrías (figura 2).

| Tabla 5 | |
|---|---|
| Tabla clasificativa | |
| Parámetro | Clasificación (de mejor a peor comportamiento) |
| Saturación hidráulica | 4=1>2>3 |
| Eliminación turbidez | 4>2>3>1 |
| Oxidabilidades | 2>4>3=1 |
| Trihalometanos | 2>1>3=4 |
| Valor del índice de yodo | 1>2>4>3 |
| Tiempo para la regeneración | 2>1=3>4 |

-Respecto la eliminación de materia no disuelta( que afecta a la turbidez), así como materia oxidable presente (oxidabilidades), el comportamiento de los cuatro filtros es prácticamente el mismo.

-En cuanto a la eliminación de trihalometanos, el filtro 2 posee un ligero mejor rendimiento frente a los otros tres CAGs que podría estar relacionado con el grado de dispersión del gránulo del *CAG.*

-Según el tiempo necesario para su regeneración, el mejor comportamiento lo presenta el filtro 2, aunque los valores son muy similares.

-El origen vegetal o mineral de los diferentes CAGs no produce cambios significativos en el comportamiento ni en el rendimiento frente a los parámetros y compuestos estudiados.

-La sustitución de filtros de arena por filtros de CAG no es la mejor solución para conseguir la eliminación de trihalometanos, a causa de la rápida saturación frente a estos compuestos, aunque si asegura la eliminación de otras problemáticas que pueden surgir en el agua de entrada, así como la mejora de las características organolépticas del agua tratada. Una alternativa para evitar su formación consistiría en sustituir la cloración por otros métodos de oxidación como el permanganato, dióxido de cloro u ozono.

## 9.Bibliografía.


- Germán Groso Cruzado El carbón activado granular en el tratamiento del agua. Aconcagua ediciones y publicaciones(1997) -
- APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. Díaz de Santos(1992)
- Degrémont. Manual técnico del agua. Ed. Grafo S.A (1979) Cuarta edición.
- J García Garrido. El Agua en la producción (La calidad del Agua). Volumen I. Ed. Prensa XXI (1986).
- F. Van Hcof, l Mus, J. G. Janssens, R.Nieuwejaers and A. Buekens. Comparative investigation concerning the efficiency of new and regenerated activated carbon for the removal of organic substances during drinking water treatment. Water Supply. 1989, Vol.7,pp 135-147.
- Germán Groso Cruzado, Joel Brosa Echevarría. El carbón activo, sus características y propiedades. Tecnología del agua Junio 1998, 177, pp 34-41.
- Thomas F. Speth and Richard J.Miltner. Adsorption capacity of CAG for synthetic organics. Journal AWWA, 1998, Vol. 90, pp. 171-174.
- J. R. Rodríguez Delgado. Estudi comparatiu en planta pilot per a la substitució del llit filtrant de 1´ ETAP de Figueres. 1997.
- Nuri Franch i Calmó. Estudi del poder d´adsorció d´un CAG. 1997